

Radioactivitat: El cas de Fukushima



Publicacions CRECIM
Col·lecció REVIR 2016



“Radioactivitat: El cas de Fukushima”, unitat didàctica per a l’estudi de la radioactivitat.

Creada per Digna Couso, Josep Olivella i Lluïsa Herreras.

Maquetació i revisió: Maria Navarro i Maria Dalmases.

Es distribueix sota una llicència Creative Commons

Atribució-NoComercial-SenseDerivar 4.0 Internacional

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

totes les imatges utilitzades són pròpies o d’ús lliure

Citar com:

Couso, D., Olivella, J. i Herreras, Ll. (2016). *Radioactivitat: El cas Fukushima. Seqüència didàctica per a l’estudi de la radioactivitat*. Barcelona: Publicacions CRECIM

El projecte REVIR és un projecte del CRECIM, amb el suport de l’Obra Social “La Caixa” i la Universitat Autònoma de Barcelona.

Indicacions per al professorat

Objectius didàctics de la seqüència

En aquesta seqüència es busca que l'alumnat de 2n de Batxillerat entengui com és un procés radioactiu i com quantificar-lo.

En la primera part, amb l'ajut d'una simulació, els alumnes veuran que poden classificar la radioactivitat segons la radiació emesa i que, alhora, aquesta radiació es pot classificar per la seva capacitat penetrant.

En la segona part, l'alumnat hauria de ser capaç d'identificar com és l'evolució de la radiació emesa en funció del temps. Els estudiants analitzaran, a partir d'unes dades reals d'una mostra de Cesi, com varia el seu ritme de desintegració amb el temps. A continuació, hauran de trobar una equació matemàtica que s'ajusti al conjunt de dades donat i que, per tant, ajudi a quantificar el fenomen i a predir l'evolució de la radioactivitat en funció del temps (Llei de la desintegració radioactiva).

Per analitzar millor aquest fenomen, s'utilitzarà una mostra de daus com a model analògic que, amb els seus límits, permet reproduir aquest procés. Com a eina per entendre el model, s'estudiaran les lleis que regeixen els successos aleatoris i, això, permetrà als estudiants comparar el model analògic de daus amb el fenomen real de la radioactivitat.

Finalment, es preguntarà als alumnes quant temps creuen que tardarà en desaparèixer la radioactivitat a Fukushima. Davant d'un accident nuclear com el que va tenir lloc el mes de març de 2011 a Fukushima (Japó), una de les primeres preocupacions és evitar la fuga d'isòtops radioactius i, en cas de que hi hagi hagut alguna fuga, cal determinar el grau de contaminació radioactiva per evitar riscos a la població. A Fukushima es detecten nivells de radiació molt elevats. Una de les causes d'aquests és la desintegració del Cs-137, que és un isòtop radioactiu del Cesi. A partir dels coneixements adquirits durant el taller, l'alumnat hauria de ser capaç de determinar quant de temps ha de passar per poder viure a la zona afectada de Fukushima sense perill per la salut.

Material, muntatge experimental i eines digitals que es fan servir

El material necessari per aquesta seqüència és:

- Una caixa de daus (uns 150-200).
- Un full de càlcul estil Excel o Calc (open office).

També serà necessària la següent eina digital:

- La simulació RadiationLab (link [aquí](#))



Estructura de la seqüència

La seqüència es divideix en 2 parts principals amb una durada de 2 hores cada part:

Primera part: Exploració del fenomen de la radioactivitat, definició qualitativa de radioactivitat

1. Fukushima
2. Explorem la radioactivitat
3. Interpretació qualitativa del gràfic de desintegració radioactiva

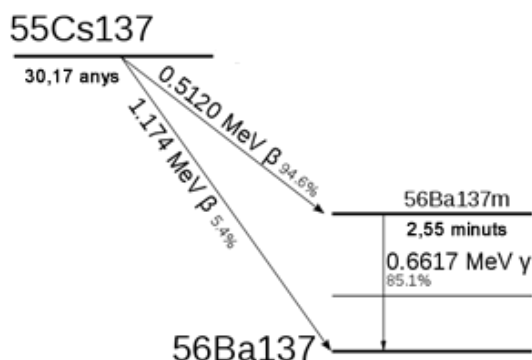
Segona part: Definició quantitativa de la radioactivitat, recerca de l'equació per explicar el comportament temporal, predicció Fukushima

4. Interpretació quantitativa del gràfic de desintegració radioactiva.
5. La radioactivitat natural
6. Els daus, un model per entendre la desintegració radioactiva?
7. Treballem amb el model
8. Anàlisi dels paràmetres de les equacions
9. Els daus són un bon model?
10. El futur a Fukushima

1. Fukushima

Davant d'un accident nuclear com el que va tenir lloc el mes de març de 2011 a Fukushima (Japó), una de les primeres preocupacions és evitar la fuga d'isòtops radioactius i, en cas de que hi hagi hagut alguna fuga, cal determinar el grau de contaminació radioactiva per evitar riscos a la població.

En un accident nuclear com aquest, un dels problemes de caire radiològic és l'emissió de Cs-137 que es diposita pels voltants dels reactors nuclears i que s'incorpora a la xarxa alimentària. Aquest isòtop és inestable i es desintegra en l'isòtop metastable Ba-137 m, emissor gamma, que decau a l'isòtop Ba-137. Estimat la quantitat de Ba-137 que hi ha és pot esbrinar quina és la quantitat de Cs-137 que s'ha escapat de la central.



Completa al teu dossier:

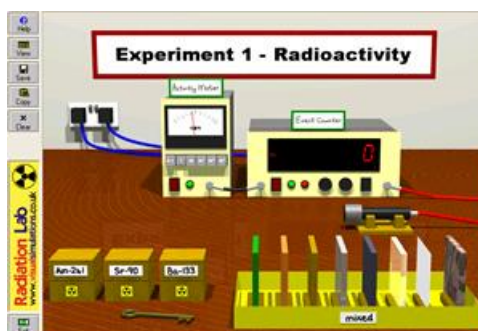


1.a. A què deuen fer referència les lletres β i γ en la imatge anterior?

2. Explorem la radioactivitat

Tal com indica la Figura 1, el Cs-137 emet radioactivitat beta i el Ba-137m és un emissor de radiació gamma. La radiació beta i gamma són exemples de desintegracions radioactives. A aquestes cal afegir un altre tipus de desintegració radioactiva: l'alfa.

Aquests tres tipus de desintegracions es poden estudiar observant el seu diferent grau de penetració en la matèria. Per a dur a terme aquest estudi us proposem utilitzar la simulació **Radiation-Lab**.



<http://radiation-lab.software.informer.com/>

Obre la simulació **Radiation-Lab**. Aquesta simulació mostra un detector Geiger en forma de micròfon que és un dispositiu que permet mesurar la radiació. Aquest detector està connectat a un monitor digital que es pot controlar amb ajuda dels botons que apareixen en la figura següent:

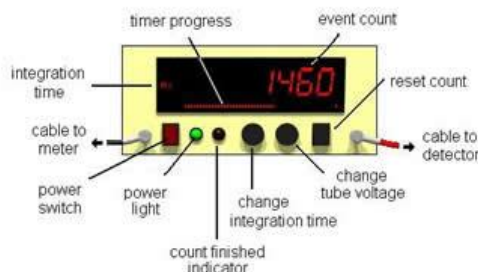


Fig.1. Monitor digital de la simulació Radiation-Lab

En la primera línia apareixen tres caixetes que contenen diferents mostres radioactives que estan totalment aïllades de l'exterior. A la dreta apareixen una sèrie de pantalles fetes de diferents materials (**mixed**).

1. Prem el botó **Reset Count**.

Completa al teu dossier:



- 2.a. Observa que el comptador indica un valor. A què podem atribuir aquest valor mesurat?

2. Selecciona una de les mostres. Acosteu el comptador Geiger tant com podeu a la mostra. Tot seguit ves col·locant cadascuna de les pantalles entre el Geiger i la mostra clicant sobre la pantalla escollida. Tot seguit mesura la radiació emesa per la mostra amb ajuda del botó **Reset Count**.

Completa al teu dossier:



2.b. Repeteix el mateix amb les altres dues mostres i omple la següent taula:

Pantalla	Am-241	Sr-90	Ba-133
Cap			

2.c. En el cas del Am-241, quants dels materials utilitzats atenuen la radiació? I en el cas del Sr-90? I en el cas del Ba-133?

Es diu que l'Am-241 és un material radioactiu que emet un tipus de radioactivitat anomenada alfa, el Sr-90 emet un altre tipus de radioactivitat anomenada beta. En el cas del Ba-133 es diu que emet radioactivitat gamma.

3. Clica damunt la clau que apareix a la simulació i selecciona com a material radioactiu la dissolució de protoactini que hi ha al tub d'assaig.

Completa al teu dossier:



2.d Esbrina amb el que acabes de trobar per les mostres anteriors quin tipus de radioactivitat emet el protoactini?

4. Amb ajuda del comptador, mesura el nombre de comptes cada 10 segons. Per fer-ho, amb el botó **Change time interval**, selecciona 10 segons. No oblidis en prémer el botó Reset Counter abans de fer cada mesura.

Completa al teu dossier:



2.e Completa la següent taula:

Temps (s)	Comptes

2.f Què observes?

3. Interpretació qualitativa del gràfic de desintegració radioactiva

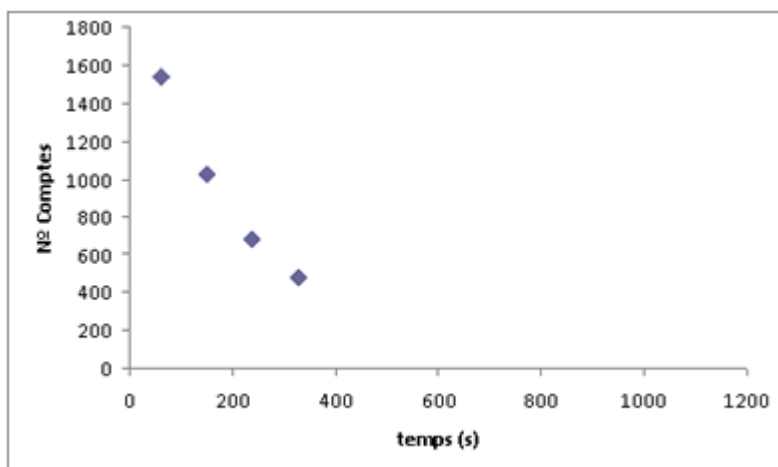
Un grup de treballadors de la central de Fukushima utilitza un detector calibrat de manera adequada per a conèixer el grau de contaminació radioactiva associada a aquest isòtop. Quan la radiació gamma arriba al detector, arranca electrons d'una superfície de iodur de sodi dopat amb Tal·li (NaI (Tl)) que originen un cert corrent elèctric que és mesurat pel detector. Aquest aparell mesura el nombre de desintegracions gamma del Ba-137 m que tenen lloc en un cert interval de temps obtenint-se una taula com la següent.

Temps (s)	Comptes
60	1535
150	1025
240	678
330	484

Completa al teu dossier:



3.a. A partir d'aquesta taula es pot construir el següent gràfic. Com continuaries el gràfic?



3.b. Intenta donar una explicació del que creieu que passa a l'augmentar el temps amb:

- el nombre de comptes o desintegracions?
- el nombre d'àtoms de l'isòtop de Ba-137m?
- el nombre d'àtoms de l'isòtop Ba-137?
- Quina relació hi ha entre el nombre d'àtoms radioactius i el nombre de comptes?

4. Interpretació quantitativa del gràfic de desintegració radioactiva

Quan el detector es deixa mesurant durant un temps més llarg, s'obtenen les següents dades:

Temps (s)	Comptes
60	1535
150	1025
240	678
330	484
420	283
510	238
600	139
690	103
780	88
870	45

Completa al teu dossier:



4.a. Representa les dades amb l'ajuda d'un full de càlcul tot agafant l'opció de gràfic de dispersió de punts sense línies.

4.b. Compara la gràfica que acabes d'obtenir amb la que has predit anteriorment.

4.c. A la vista dels punts obtinguts quina serà la línia de tendència que creus que s'ajusta millor? (Estadísticament la línia de tendència que s'ajusta millor és aquella que té el paràmetre R^2 més proper a la unitat).

4.d. Amb ajuda del programa estudia altres possibles línies de tendència que puguin ajustar millor els punts obtinguts. Escriu l'equació que has triat amb les variables més adients.

Equació1 →

4.e. De les línies de tendència amb un valor de R^2 més alt, argumenta des d'un punt de vista físic, perquè unes són possibles i altres no.

5. La radioactivitat natural

Què diu la ciència?



Fig. 2. Fotografies de la Marie Curie i l'Ernest Rutherford.

El fenomen de la radioactivitat va ser descobert per H. Becquerel l'any 1896 i va ser el tema que va escollir Marie Sklodowska per a fer la seva tesi doctoral. L'any 1894 va conèixer a Pierre Curie que arribaria a ser el seu espòs i, en casar-se, va adoptar el seu cognom, esdevenint Marie Curie. Els treballs experimentals de Marie i Pierre Curie, així com el d'altres científics com E. Rutherford i F. Soddy mostraven que el corrent elèctric mesurat per un detector seguia una llei exponencial.

$$I = I_0 e^{-\lambda t}$$

on I és el corrent degut a les radiacions ionitzants després d'un cert temps t i I_0 és el corrent inicial. Aquest corrent és proporcional al nombre de radiacions ionitzants que arriben al detector i per tant proporcional al nombre d'àtoms radioactius presents. Així, Rutherford escrivia a l'any 1902 la següent equació:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

on N representa el nombre d'àtoms radioactius presents en un cert instant de temps t i N_0 el nombre d'àtoms radioactius presents a l'instant inicial.

Els treballs de Curie, Rutherford i altres explicaven els fets experimentals observats sobre el fenomen de la radioactivitat, però en cap moment donaven una explicació del seu origen. Caldria esperar fins als anys 20 del segle passat per poder estudiar amb més profunditat el fenomen radioactiu amb l'arribada de la Mecànica Quàntica. Aquesta teoria posa de relleu, entre d'altres aspectes, el caràcter aleatori dels processos que tenen lloc a nivell atòmic.

La desintegració radioactiva d'un isòtop és un procés aleatori que, com tots els processos d'aquesta tipologia, compleix tres propietats bàsiques:

1. Es coneixen prèviament els possibles resultats de l'experiment.
2. És impossible la predicció del resultat de l'experiment, abans de realitzar-lo.
3. En successives realitzacions de l'experiment, amb les mateixes condicions inicials poden aparèixer diferents resultats.

En el cas de la radioactivitat, cal afegir un altre aspecte. El fet de que un isòtop es desintegri o no, no afecta als seus veïns. Es parla en aquest cas d'un **esdeveniment aleatori independent**.

No es pot saber a priori quin isòtop es desintegrarà ni quan ho farà, però sí que es pot predir el comportament d'un nombre molt elevat d'isòtops radioactius, comportament que ve determinat per una llei estadística exponencial

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

on N representa el nombre d'àtoms radioactius presents en un cert instant de temps t i N_0 el nombre d'àtoms radioactius presents a l'instant inicial.

6. Els daus, un model per entendre la desintegració radioactiva?

En ciència, sovint s'utilitzen models per interpretar un fenomen físic. Llançar daus pot ser un possible model per estudiar el nostre fenomen. Per veure si és un bon model cal comprovar si els criteris d'aquest són els mateixos que els del fenomen que hem d'estudiar.

Considera el llançament d'un conjunt de daus.



Completa al teu dossier:



6.a. Intenta comparar en la següent taula l'equivalència entre el model que et proposem i el fenomen de la desintegració.

Model	Realitat
	Cada àtom de Ba-137m
Conjunt de daus	

6.b. Fixa't en un dels daus.

- Quan el llancem, quins són els possibles resultats que pots obtenir?
- Pots predir quin serà el resultat abans de llançar-lo?
- Sortirà la mateixa cara a cada tirada?
- El resultat de llançar un dau afecta als possibles resultats de la resta de daus?

6.c. En la següent taula, continua aprofundint en la comparació del model de daus i el fenomen de desintegració radioactiva.

	Què passa en el model?	Què representa a la realitat?
Quins són els possibles resultats?	{1,2,3,4,5,6}	
Coneixem el resultat que sortirà?		
Si repetim l'experiment, obtindrem el mateix resultat?		
El resultat obtingut afecta a la resta de la mostra?		

6.d. A partir de les dades de la taula de la qüestió anterior, es pot dir que la tirada d'uns daus permet simular el fenomen de la desintegració radioactiva? Justifica la resposta.

6.e. A més a més d'aleatori independent, al fenomen de la radioactivitat quan un àtom es desintegra i passa a ser estable ja no es pot tornar a desintegrar. Hauríem d'assegurar-nos que el nostre model de daus també pot representar això. Què hauríem de fer amb els daus per a simular aquesta característica?

7. Treballem amb el model

Cada grup d'alumnes disposareu d'un conjunt de daus que simularan la mostra radioactiva. Cada grup tirareu els daus. Compteu el nombre d'asos que han sortit i retireu-los per tal de simular que els àtoms s'han desintegrat. Repetiu aquest procés fins que no quedi cap dau i utilitzeu un full de càlcul per recollir les dades que anireu obtenint amb els apartats N° de tirada, N° de daus que hi ha, N° asos que han sortit.

Completa al teu dossier:



7.a. Representa al full de càlcul la gràfica del n° de daus que hi ha abans de cada tirada en funció del n° de tirades, fent servir un gràfic de dispersió sense línies.

7.b. Ajusta els punts que heu obtingut amb la línia de tendència que trobeu més adient. Escriu l'equació del gràfic que has triat i el paràmetre estadístic R^2 que obtens utilitzant el n° de daus i el nombre de tirades com a variables.

Equació 2 →

7.c. Quines semblances i quines diferències trobes entre aquest gràfic i el que has obtingut a partir de les dades del fenomen real (Equació 1)?

8. Anàlisi dels paràmetres de les equacions

Per estudiar l'evolució amb el temps d'una mostra radioactiva els científics es fixen en el temps que tarda aquesta mostra en reduir les seves partícules radioactives a la meitat. Aquest temps s'anomena **període de semidesintegració** ($T_{1/2}$) i es mesura en unitats de temps.

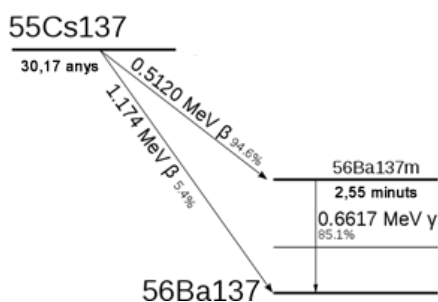
Completa al teu dossier:



8.a. Amb la informació que tenim fins ara sobre el fenomen, com podríem trobar el temps que hauria de transcórrer perquè la mostra de Ba-137m es reduís a la meitat?

8.b. En el nostre model de daus, quin significat té el període de semidesintegració?

A la figura següent es pot veure que el període de semidesintegració del Ba-137m és de 2.55 minuts, valor molt proper al que has obtingut. La mateixa figura mostra que es pot obtenir Ba - 137 estable a partir del Ba-137-m, però també a partir de la desintegració del Cs-137.



Completa al teu dossier:



8.c. Si ens fixem en un àtom de Cs137 o en un de Ba137m, quin "viurà" més temps?

8.d. Quin dels dos àtoms és més probable que es desintegri?

8.e. Quina relació penses que hi ha entre la “vida” d’un àtom i la probabilitat que aquest es desintegri?

Què diu la ciència?

Es defineix la **constant radioactiva** λ d’una substància com la probabilitat de desintegració per unitat de temps. Es mesura en s⁻¹ al S.I. Aquesta constant λ és el coeficient que multiplica al temps en la funció exponencial.

Matemàticament es pot demostrar que la relació entre el període de semidesintegració, $T_{1/2}$, i la constant radioactiva, λ ve donada per

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Completa al teu dossier:



8.f. Quina és la constant radioactiva del Ba-137m? I la del Cs-127? Comenta aquests valors.

9. Els daus són un bon model?

Completa al teu dossier:



9.a. Quina és la probabilitat de treure un as? Compara aquest valor amb el que has obtingut en l'Equació 2 en l'apartat 7.

Discuteix en grup:



En el model de daus, si volguéssim dissenyar un experiment simulant una substància radioactiva amb una constant de desintegració més gran, com podríem fer-ho?

Completa al teu dossier:



9.b. Com que λ és característica de cada substància radioactiva, no depèn de la quantitat de mostra. I al model, depèn de la quantitat?

9.c. Agafeu una mostra petita de daus i trobeu el valor de λ .

9.d. A partir dels resultats que acabeu d'obtenir pels valors de λ de les mostres de daus, quina limitació creus que té utilitzar el model de daus per a interpretar el fenomen de desintegració radioactiva?

Discuteix en grup:



A partir de les característiques dels processos aleatoris, com els fenòmens radioactius, descriu un altre possible model per a interpretar la radioactivitat i pensa en les possibles limitacions d'aquest a l'hora d'interpretar el fenomen radioactiu.

10. El futur a Fukushima

Un dels isòtops que l'Agència Internacional de l'energia atòmica (IAEA) controla amb més atenció en el desastre de Fukushima és el Cs-137, ja que aquest es pot incorporar fàcilment a la cadena alimentària.



Fig. 3. Imatge del desastre que va succeir a Fukushima.

Completa al teu dossier:



10.a. A dia d'avui, en quin percentatge ha disminuït el nombre de comptes mesurat per un detector de la desintegració del Cs137 al voltant de la central nuclear de Fukushima?

10.b. Per motius de seguretat es podria considerar que els habitants de Fukushima podrien tornar a casa seva quan el nombre de comptes mesurats pel detector es redueixi a la desena part. Quant de temps haurà de passar per a que el nombre de comptes mesurats pel detector es redueixi a la desena part?

